

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10073775 A**(43) Date of publication of application: **17.03.98**

(51) Int. Cl.

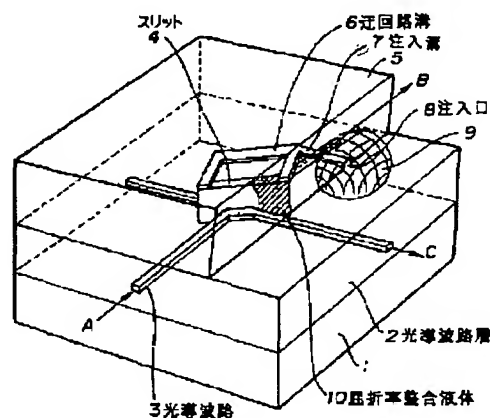
G02B 26/08(21) Application number: **08231674**(22) Date of filing: **02.09.96**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**(72) Inventor: **SATO MAKOTO
SHIMOKAWA FUSAO
NISHIDA YASUhide
MAKIHARA MITSUHIRO**(54) **OPTICAL SWITCH AND ASSEMBLING METHOD
THEREFOR**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical switch which is excellent in long-term reliability and is high in manufacturability, and a manufacturing method therefor.

SOLUTION: In this optical switch, a refractive index matching liquid 10, whose refractive index is equal to that of optical waveguides 3, is encapsulated in a gap 4 provided in an intersecting part of the optical waveguides 3 intersecting with each other on a base material 1 within an optical waveguide substrate. The switching of optical paths is performed between the optical waveguides intersecting with each other by moving the refractive index matching liquid 10 within the gap 4. In such a case, the base material 1 of the optical waveguide substrate is made of silicon, a glass layer is provided on the base material 1, a deposited silicon layer is provided on the surface, and the gap 4 provided in the intersecting part of the optical waveguides 3 is closed with a borosilicated low alkali glass which is anode-jointed with the silicon layer.



(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 26/08

識別記号 庁内整理番号

F I

G 0 2 B 26/08

技術表示箇所

H

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-231674

(22) 出願日 平成 8 年(1996) 9 月 2 日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 佐藤 誠

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 下川 房男

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 西田 安秀

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外 2 名)

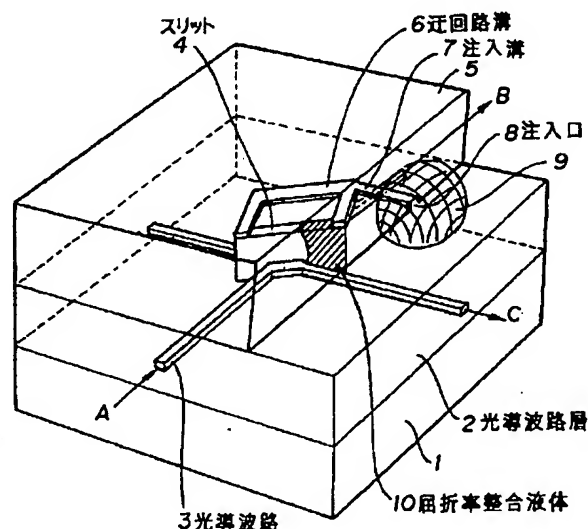
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光スイッチ及びその組立方法

(57) 【要約】

【課題】 長期信頼性に優れ、且つ製造性の高い光スイッチ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 光導波路基板内で基材 1 上に互いに交差する光導波路 3 の交差部に設けられた空隙 4 に、光導波路と屈折率が等しい屈折率整合液体 10 が封入され、該屈折率整合液体 10 を空隙 4 内で移動させることにより、互いのに交差する光導波路間で光路の切替を行う光スイッチにおいて、光導波路基板の基材 1 がシリコンであり、該基材 1 の上にガラス層を備え、表面に堆積したシリコン層 16 を備え、上記光導波路 3 の交差部に設けられた空隙 4 が該シリコン層 16 と陽極接合されたホウケイ酸低アルカリガラスにより蓋をされていることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路基板内で基材上に互いに交差する光導波路の交差点に設けられた空隙に、光導波路と屈折率が等しい屈折率整合液体が封入され、該屈折率整合液体を空隙内で移動させることにより、互いに交差する光導波路間で光路の切替を行う光スイッチにおいて、光導波路基板の基材がシリコンであり、該基材の上にガラス層を備え、表面に堆積したシリコン層を備え、上記光導波路の交差点に設けられた空隙が該シリコン層と陽極接合されたホウケイ酸低アルカリガラスにより蓋をされていることを特徴とする光スイッチ。

【請求項2】 請求項1記載の光スイッチにおいて、光導波路基板の基材が石英であり、蓋がホウケイ酸低アルカリガラス或いはホウケイ酸ガラスを表面に堆積した石英であることを特徴とする光スイッチ。

【請求項3】 請求項1又は2記載の光スイッチを組み立てる方法において、蓋が接合された状態で、光導波路の交差点に設けた間隙が外部に接続するように導波路基板表面或いは蓋の接合面に溝が設けられており、該溝より屈折率整合液体を注入することを特徴とする光スイッチの組立方法。

【請求項4】 請求項3記載の光スイッチの組立方法において、所定の圧力に減圧した減圧容器内で屈折率整合液体を液体注入用の該溝へ接触させ、その後、大気圧に戻すことにより目的とする量の屈折率整合液体の注入を行うことを特徴とする光スイッチの組立方法。

【請求項5】 請求項4記載の光スイッチの組立方法において、屈折率整合液体を注入する前に、蓋が接合された光導波路基板の表面にシランカップリング剤等の表面処理剤を塗布し、屈折率整合液体との接触角を有限な値とすることを特徴とする光スイッチの組立方法。

【請求項6】 請求項5記載の光スイッチの組立方法において、屈折率整合液体の注入後に余分な屈折率整合液体を除去し、間隙に接続する溝の開口部をエポキシ樹脂、シリコン樹脂又はシリコンゴムで封をすることを特徴とする光スイッチの組立方法。

【請求項7】 請求項1又は2記載の光スイッチを組み立てる方法において、光導波路基板表面のシリコンが、光導波路交差点における空隙の作成後に堆積させられることを特徴とする光スイッチの組立方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信に利用される光スイッチ及びその組立方法に関する。詳しくは、光路中に設置された溝（空隙）内で、屈折率整合液体を移動させ、反射状態、透過状態を切り換えて、以て、光路を切り換える光スイッチ及びその組立方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、導波路基板中の互いに交差する光導波路の交差点に溝を設け、溝が空の時にはその溝

の側壁で全反射させて光路を切り替え、屈折率整合液体が満たされたときに光が溝を透過して直進する光スイッチが提案されている。

【0003】 例えば、格子状に配した光導波路の交差点の溝に屈折率整合液体を注入し、排出して光路の切り替えを行う方法が提案されている（電子情報通信学会・予稿C-191, 1992）。

【0004】 同じく、光導波路の交点溝に屈折率整合液体を兼ねた電解液を満たし、電気分解で気泡を発生させ、溝内の液体を排除、或いは触媒性の電極で再結合させ、気泡を消滅し、溝内を液体で再度満たすという方法で光路を切り換える方法が提案されている（United State Patent 498815）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、従来提案されている光スイッチは、次に述べるように、信頼性、製造性に問題があった。

【0006】 即ち、上記二つの例では、屈折率整合液体が注入される溝は外部に解放されており、長期の安定性を考えると、屈折率整合液体の蒸発や埃の混入によるスイッチ特性の劣化が懸念される。完全に密封すれば、このような問題はなくなるが、上記のスイッチでは原理上できない。

【0007】 また、密封できるスイッチ構造だとしても、必要量の屈折率整合液体を溝内に注入し、蓋をして密封することは製造上困難である。その理由は、第一に溝の容積がピコリットル程度であるため、液体を計量して注入する手段がないことが挙げられる。第二に導波路基板材料となるガラスは、屈折率整合液体によく濡れ、溝に注入された液体はすぐに外部に濡れ広がって一所に留まらない。第三に、ガラス表面に濡れ広がった液体は蓋をする際に用いる接着剤とガラス表面の濡れを阻害し安定な接着が実現できなかった。

【0008】 一方、密着可能な光導波路スイッチ構造の例として、電気毛细管現象を利用したものが提案されている（特開平6-175052号）。このスイッチ構造は、上記の問題を解決するため、スイッチ用の溝の回りを取り囲むように堀状の溝を設け、液体の濡れ広がりを多少緩和し、同時に接着剤のスイッチ用溝への侵入を防いでいる。

【0009】 しかし、この構造でも、接着剤の注入量の制御は大変困難である。特に、マトリックス状の光スイッチを作製することを考えると、各スイッチ構造の溝に個別に液体を計量して注入したり、接着剤を注入することは極めて困難である。本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、長期信頼性に優れ、且つ製造性の高い光スイッチ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】 以上の問題を解決するた

め、本発明の光スイッチは、光導波路基板内で基材上に互いに交差する光導波路の交差部に設けられた空隙に、光導波路と屈折率が等しい屈折率整合液体が封入され、該屈折率整合液体を空隙内で移動させることにより、互いに交差する光導波路間で光路の切替を行う光スイッチにおいて、光導波路基板の基材がシリコンであり、該基材の上にガラス層を備え、表面に堆積したシリコン層を備え、上記光導波路の交差部に設けられた空隙が該シリコン層と陽極接合されたホウケイ酸低アルカリガラスにより蓋をされていることを特徴とする。

【0011】更に、光導波路基板の基材が石英であり、蓋がホウケイ酸低アルカリガラス或いはホウケイ酸ガラスを表面に堆積した石英であることを特徴としても良い。

【0012】また、上記問題を解決するため、本発明の光スイッチの組立方法は、上記光スイッチを組み立てる方法において、蓋が接合された状態で、光導波路の交差部に設けた間隙が外部に接続するように導波路基板表面或いは蓋の接合面に溝が設けられており、該溝より屈折率整合液体を注入することを特徴とする。

【0013】更に、所定の圧力に減圧した減圧容器内で屈折率整合液体を液体注入用の該溝へ接触させ、その後、大気圧に戻すことにより目的とする量の屈折率整合液体の注入を行うことを特徴とする。

【0014】また、上記光スイッチの組立方法において、屈折率整合液体を注入する前に、蓋が接合された光導波路基板の表面にシランカップリング剤等の表面処理剤を塗布し、屈折率整合液体との接触角を有限な値とすることを特徴とする。

【0015】更に、上記光スイッチの組立方法において、屈折率整合液体の注入後に余分な屈折率整合液体を除去し、間隙に接続する溝の開口部をエポキシ樹脂、シリコン樹脂又はシリコンゴムで封をすることを特徴とする。

【0016】また、上記光スイッチを組み立てる方法において、光導波路基板表面のシリコンが、光導波路交差部における空隙の作成後に堆積させられることを特徴とする。

【0017】〔作用〕本発明の光スイッチでは、屈折率整合液体を注入した、交差光導波路部に設けた光路切替用の空隙が陽極接合により蓋をされている。陽極接合では、接合部は間隙無く密着して接合するため、空隙に封入した屈折率整合液体は外部との接触を絶たれ、蒸発や変質を防ぐことができる利点がある。

【0018】また、陽極接合は、接合面に接着剤やシール材として高分子や金属等を挟み込む必要のない直接接合であるため、微細な加工を施す必要のある光導波路基板と蓋を接合するために極めて適した接合方法である。更に、接着剤の変質、接着剤との反応による屈折率整合液体の変質等の心配がいないという長所もある。

【0019】ここで、光導波路基板に、火炎堆積法、イオンビームスパッタ法或いは電子ビーム蒸着法等で表面に石英ガラスが堆積されていると、そのままでは、陽極接合が困難である。そこで、本発明では、その石英層の表面に接合用のシリコンを堆積させ、且つ、蓋材としてパイレックスガラス（ホウケイ酸低アルカリガラスの商標名）を用いているため、陽極接合が可能となる。

【0020】光導波路基板の基材がシリコンが用いられている場合にはパイレックスガラスが蓋材として好ましいが、その他に、ホウケイ酸ガラスも利用できる。或いは、光導波路の基材が石英である場合、蓋材として同じ材料である石英ガラスを基材としてその表面にパイレックスガラスやその他のホウケイ酸ガラスを堆積したものをを用いることにより、陽極接合が行える。導波路と蓋の基材が同じであれば、温度変化による接合面への歪は生じないので、信頼性の高い接合が可能となる利点がある。

【0021】上記の陽極接合で屈折率整合液体を注入する空隙の蓋がされるが、蓋がされた状態で、空隙が外部と接続する通り道が存在するように、予め導波路板表面或いは蓋の接合面に溝を設けてある。陽極接合により蓋がされると、交差導波路部の空隙はこの穴を残して完全に密閉される。従って、この穴から必要量の屈折率整合液体を注入することができる。

【0022】この穴を二箇所設ければ、一方は液体の注入口となり、他方は内部空気の排出口となり、液体の注入を円滑に行うことができる。また、穴を一箇所のみとした場合には、減圧状態で屈折率整合液体をその注入口に接触させるか、或いは、基板全体を屈折率整合液体に漬け、その後大気圧に戻すことにより、必要量の液体を空隙に注入することができる。

【0023】この方法では、個別に注入量を制御する必要がなく、一括に管理できる圧力で注入量を正確に制御できる利点がある。この屈折率整合液体を注入する前に、基板表面をシランカップリング剤等の表面処理剤により撥油処理を施すことにより、屈折率整合液体の注入後の基板表面に付着した余分な屈折率整合液体の除去が容易となり、信頼性の高い注入口の封が可能となる。

【0024】更に、導波路基板表面に施す陽極接合用のシリコンの堆積を光切替用の空隙の加工の後に行うことにより、プロセスを簡略化することができる。

【0025】

【実施例】

【実施例1】本発明の第一の実施例を図1に示す。同図に示すように、シリコン基板1の上にガラス層である光導波路層2が堆積されると共にこの光導波路層2には光導波路3が埋め込まれている。この光導波路3は、通常、次のようにして作製される。

【0026】まず、シリコン基板1上に下部クラッド層と呼ばれるガラス層を堆積させる。ガラス層の堆積は、

火炎堆積法、イオンビームスパッタ法、電子ビームスパッタ法等が用いられる。

【0027】次に、その下部クラッド層の上に、ゲルマニウム等のドーパントを添加したコア層を堆積させる。通常、屈折率差の比率は、0.3%程度である。このコア層をフォトリソグラフの手法により必要な部分を残して除去し、導波路構造を作製する。一般に、光導波路の断面寸法は、7~8 μm 角である。これは屈折率とも関係があり、伝播する光のモードフィールドを光ファイバと一致させるために、このような寸法となっている。

【0028】更に、その上にガラスを堆積させて上部クラッド層を形成し、埋め込み型の光導波路を完成させる。本実施例においては、光導波路3は光導波路層2内において交差する一組の直線導波路として作製されている。

【0029】更に、その交差部にスリット4がフォトリソグラフの手法により形成されている。スリット4は、光導波路層2の上面から彫り込まれており、その底面はシリコン基板1に達していないが、モードフィールドの広がりを考慮して下部クラッド層に達している。スリット4の下側の壁面は、鏡として働く場合に、交差した光導波路間で光を交換できるように、双方の光導波路3に対して同一角度となるよう配置されている。更に、スリット壁面は、光導波路の含まれる平面に対して直角である。

【0030】スリット4内には、コア部と比屈折率を等しく調整された屈折率整合液体10が約半分程度封入されている。本実施例では、屈折率整合液体10としてシリコンオイルが封入されている。ここで、スリット4の光導波路3の交差部に当たる部分に屈折率整合液体10が存在するとき、一方の光導波路3に図中矢印A方向から入力された光信号は、スリット4を横切って図中矢印B方向へ直進する。

【0031】これに対して、スリット4の光導波路3の交差部に当たる部分に屈折率整合液体10が存在しないとき、一方の光導波路3に図中矢印A方向から入力された光信号は、スリット壁面で全反射し、図中矢印C方向へ屈折する。この説明では、A方向からB方向へ、また、A方向からC方向へと光信号が伝播する例を挙げたが、光の性質から、光信号はそれぞれB方向からA方向へ、また、C方向からA方向へと同時に双方方向へ伝えることができる。

【0032】スリット4は、その半分の長さで光導波路3からスリット4内へ出射された光フィールドより十分広い範囲をカバーしている。光のフィールドの広がり、光導波路中央から10 μm 程度なので、光導波路3の交差角が90°、スリット幅が10 μm とすると、スリット長は最低でも68 μm となる。スリット4の深さは、コア部から更に10 μm 程度深く掘り下げられている。上部クラッド層の厚さは20 μm 程度とすると、ス

リット全体の深さは40 μm 程度となる。

【0033】スリット4の両端付近には、図2に示すようにヒーター12が形成されている。図2は、スリット4とヒーター12の位置関係を示している。このヒーター12は、光導波路層2の上に、チタン、クロム等の比較的高抵抗の金属薄膜をスパッタ法等で堆積させてフォトリソグラフにより作製したものである。更に、金属膜を堆積させヒーター配線13が施される。但し、図1中では、図を見易くするために、ヒーター12、ヒーター配線13は省略した。

【0034】図2に示すように、スリット4に約半分ほど封入されている屈折率整合液体10は、気体との接触面積を最小にして安定な状態を保つため、必ずスリット4の片端に寄った形状で存在する。重力の影響によりスリット4の下半分に溜まることはない。

【0035】これは、スリット幅が数十 μm のオーダーであるため、重力に比較して、表面張力が数桁大きく支配的となるためである。スリット4内での屈折率整合液体10の移動は、次のようにヒーター12への通電により行われる。いま、スリット4の左半分に屈折率整合液体10が存在していたとすると、その右側には気泡(気体)11が存在することになる。

【0036】この状態で、左側のヒーター12に通電すると、左側のヒーター12の温度が上昇し、スリット4内に温度勾配が生じる。気泡11の表面にも温度勾配が生じる。屈折率整合液体10と気泡11との界面、即ち、気泡の表面の表面張力は温度の上昇と共に減少する。そのため、気泡の表面で表面張力の勾配を発生し、気泡表面の液体が温度の低い側へ移動する。結果として、気泡は温度の高い所へ移動し、最終的には屈折率整合液体10は右端へ移動すると共に気泡11は左端へ移動する。最初の状態からみると、液体10と気泡11とが入れ替わったことになる。この入れ替わりは、実施例の寸法では数秒以下で完了する。

【0037】更に、図2に示すように、スリット4の中央部分4aは、スリット幅の狭い部分となっている。そのため、一旦、右か左の端へ移動した気泡11は毛細管現象のために、この幅の狭い中央部分4aを越えて移動できない。当然ながら、スリット4の中央部分4aは、温度勾配による気泡11の移動には支承のない程度のスリット幅の変化量としてある。

【0038】また、本実施例では、スリット4の両側にそれぞれ加熱用としてヒーター12を設けているが、スリット4の中央付近に追加のヒーターを設けて、順次加熱域を移動させても良い。これにより、液体10の移動速度を上げることができる。このスリット4は、蓋側基板5により蓋がされている。この蓋側基板5は、信頼性の立場から、光導波路側基板と膨張係数の近い材料を用いることが望ましい。

【0039】本実施例では、光導波路側基板としてシリ

コン基板1を用いているので、蓋側基板5としてパイレックスガラスを用いている。蓋側基板5として、基板1と同じシリコンを用いてもよいが、シリコンは可視光を透過しないため、蓋をする際の位置合わせを赤外線観察を用いて行う必要があり、赤外線顕微鏡等の特殊な設備を必要とする。

【0040】パイレックスガラスは可視光に対して透明であるので、通常顕微鏡で蓋の位置合わせ、蓋の密閉性、屈折率整合液体の注入状況等の確認が容易であるという利点を持つ。蓋側基板5には、迂回路溝6及び注入溝7がフォトリソグラフィの手法で形成されている。迂回路溝6及び注入溝7は、図1に示すように、蓋側基板5の下面、即ち、導波路基板上面との接合面に接して作られている。

【0041】迂回路溝6は、蓋をした際に、導波路側のスリット4の上部、即ち、導波路基板の表面と同一面において両端を接続され、気泡11（或いは液体10）の移動に際して、液体10（或いは気泡11）の迂回路となる。また、屈折率整合液体10を注入する際の液体10の通り道となる。注入溝7は、蓋の端にまで達しており、蓋をした状態で、注入口8が蓋の端に開口した状態となる。

【0042】本実施例では、蓋側基板5を導波路側の基板と接着させる方法として、図3に示す陽極接合を用いる。図3は、本実施例における光導波路側基板、蓋側基板の断面構造の概略を示す。図1では簡略化のために省略しているが、図3に示すように、ヒーター12、ヒーター配線13等の金属配線層の上には、ガラスによる絶縁層15が形成され、更にその上にシリコンの接合層16が形成されている。

【0043】但し、ヒーター配線13の電極取り出し部14の上部には、絶縁層15、接合層16は形成されていない。接合層16は、アモルファス、多結晶、単結晶薄膜の何れであっても構わない。本実施例ではアモルファスシリコン薄膜である。接合層16の上に位置合わせを行って、蓋側基板5となるパイレックスガラスを重ねる。接合する面は共に鏡面状に平滑でなければならない。

【0044】ヒーター配線13のために、表面に凹凸が発生する場合があり、その際には事前にアモルファスシリコン接合層16を研磨する必要がある。或いは、ガラス絶縁層15を厚く堆積させ、シリコン接合層16を堆積させる前にガラス絶縁層15を研磨するのも良い。これらを重ねた状態で、温度を上げ、アモルファスシリコンである接合層16表面に正極を、パイレックスガラスである蓋側基板5に負極をそれぞれ接触させ、直流電圧を付与する。本実施例では、温度450℃、電圧900Vの条件で接合されている。

【0045】陽極接合では、接着剤等を用いていないため、微細なスリット4等の構造物に影響を与える心配が

なく、極めて密着性が高い、気密性の良い接合が可能である。従来より、シリコン基板とパイレックス基板とを陽極接合で接合させることは広く行われているが、光導波路基板のように表面に絶縁層として数十μmの厚さのガラス層が存在する場合に、接合することが困難であった。

【0046】本実施例では、この光導波路層としてのガラス層だけでなく、更にその上に、ヒーター12、ヒーター配線13、更に、ガラス層である絶縁層15を堆積させてあり、基板がシリコンであっても陽極接合は不可能であったが、最表面にシリコン層を接合層16として堆積させることによりこれが可能となった。

【0047】蓋側基板5が接合されたのち、屈折率整合液体10を注入口8より注入する。その方法は、注入溝7、迂回路溝6及びスリット4を合わせた容積と注入したい液体10の容積の比から算出した圧力にまで減圧した空間で屈折率整合液体10を注入口8に接触させ、その後大気圧へ戻すことにより行う。

【0048】減圧した状態でのスリット4及び注入溝7内の気体の圧力を P_1 、容積を V_1 とする。大気圧を P_0 として、注入される液体の量 V は、 $V = V_1 (P_0 - P_1) / P_0$ となる。残す気体の体積は、 $V_1 - V$ である。この方法は、複数のスリットがある光スイッチを作製する際、個別に注入する液量を計測したり、細かな注入作業が不要であり、一括して行えるため、極めて効率の良い、且つ、注入液量の制御を確実に行うことができる利点がある。

【0049】本実施例では、減圧状態で、屈折率整合液体を注入口8に接触させているが、減圧する前に、即ち、大気中で液体を注入口8に接触させて、その後減圧しても同様な効果が得られる。この際は、毛細管現象により注入口8に接触した液体は大気圧の状態で僅かに注入溝7内に侵入するが、スリット4と注入溝7内の気体の圧力のためそれ以上は侵入しない。減圧することにより、内部の気体は注入口8より外部へ放出され、目的の圧力で数分間放置することにより、スリット内部の圧力は外部の分圧された圧力と等しくなる。

【0050】また、一般に毛細管現象により上記説明の注入量より多くの液が注入されるように思われるが、最終的にはスリット内の圧力は外気圧に戻されるため、毛細管現象により発生する力は、気体の圧縮により発生する力に比べて殆ど無視できる。従って、液量の制御は、圧力の比を考慮するだけで実用上十分である。スリット4に屈折率整合液体10を注入した後、注入口8を覆うようにエポキシ樹脂を塗布、硬化させ、封9により密閉する。

【0051】これにより、スリット4内の液体及び気体は外部との接触が絶たれ、長期に渡って安定に液量と品質を保つことができる。本実施例の光スイッチでは、スリット4内の液体10を移動させるためヒーター12に

よる加熱を用いるが、その加熱の際にスリット内の圧力が上昇する。しかし、注入口8の面積は、数十ミクロン角と極めて小さいため、封9に加わる圧力は、例えば、スリット内の圧力が3気圧程度に上昇しても僅かに、10mgf程度に過ぎない。

【0052】実際には、屈折率整合液体として用いるシリコンオイルの蒸気圧は極めて低く、このような高い圧力に達することはない。接着剤とガラスの接着力は数MPa程度なので、0.1mm角の接合面積で1gf程度の接合力を持ち、十分に内圧の上昇に耐えることができる。封9の材料としては、エポキシ樹脂以外に、シリコン樹脂、シリコンゴム等を用いても同じ効果が得られる。

【0053】尚、封9により密封する際、スリット4に注入した屈折率整合液体が、封材の接着面に付着していると、エポキシ樹脂等が十分な強度で接着しない。本実施例では、屈折率整合液体としてシリコンオイルを用いているが、この液体は導波路基板や蓋側基板の材料であるガラスに極めて高い濡れ性を持つ。従って、一旦、ガラス表面がオイルで濡れると樹脂等の接着は殆どでなくなる。

【0054】そこで、屈折率整合液体を滴下する前に、導波路基板と蓋側基板の表面を、シランカップリング剤で表面処理し、オイルの濡れ性を低下させる。シランカップリング剤は、シリコンにアミノ基、エポキシ基、ビニル基等の極性を持つ有機基と、加水分解してシラール基を形成し重合反応によるガラス表面と化学的に結合するアルコシシル基を有するモノマーである。

【0055】従って、ガラス表面に塗布すると、表面は極性のある有機質表面に改質される。屈折率整合液体として用いるシリコンオイルは極性のない液体であり、極性のない無機質のガラス表面とは極めて良く濡れるが、シランカップリング剤で改質された極性のある有機質表面とは濡れ性が低い。

【0056】液体と固体表面の濡れを表す指標として濡れの接触角が用いられるが、ガラスとシリコンオイルの場合、シランカップリング剤による改質により、接触角が0度から30度程度になる。このように、オイルを滴下する前に、ガラス基板の表面を改質することで、オイルの濡れ広がりを抑制することができ、スリット内への注入で余った液体を拭き取ったり、ピペット等で吸い取る事が可能となる。

【0057】従って、封9の樹脂の接着を確実なものとする事ができる。但し、この改質により、樹脂の接着力も無改質のガラス表面に対する値に対して1/10程度に低下する場合がある。しかし、これでも封には十分な接着力である。光導波路の交差部に設けるスリット4は、フォトリソグラフの手法で作製する。例えば、反応性イオンエッチング、プラズマエッチングなどの方法で作製される。この種の光スイッチでは、スリットの位置や壁面の垂直性、平坦性はスイッチの光学特性を決定す

る極めて重要な要素である。

【0058】従って、通常、このスリットの作製はプロセスの最後に行われる。つまり、ヒーター12等の配線、絶縁層15の堆積、シリコン層である接合層16の堆積を完了後、スリット形成が行われる。ところが、接合用のシリコンと絶縁層や光導波路の石英ガラスは、エッチング速さが大きく異なり、同時に彫り込むことには困難が伴う。つまり、均一にスリットを形成することが難しい。

10 【0059】特に、面内に広く分布する複数のスリットを同時に形成する際には、シリコン層のエッチング速度が低いと、そのシリコン膜厚の面内不均一性やエッチングの面内不均一性がスリット形成の面内不均一性に重大な影響を与える。そこで、スリットの形成を接合用のシリコン層を堆積する前に行うようにすると、スリット形成は石英ガラスのエッチングのみになり、上記のような問題も回避できる。

【0060】また、スリット形成後に接合用シリコンを堆積すると、スリット内にもシリコン層が堆積する。しかし、通信に用いられる光信号の波長は、1.3μmから1.65μmと赤外域にあり、シリコンはこれらの波長域で透明であるため、スリットの壁面に堆積しても光学特性への影響は少ない。

【0061】また、堆積するシリコン層の厚さは、接合面で数百nmであり、スリット壁面にはその数分の一程度の層としてしか堆積しないので、スリット壁面位置の変化は無視できる。更に、スリット壁面にシリコンが堆積することにより、エッチングで発生した壁面の条痕、即ち、筋状の凹凸が緩和され反射時の光の散乱が抑制され、切替時の反射損失が減少する効果がある。

30 【0062】〔実施例2〕本発明の第二の実施例を図4に示す。図4は、光導波路側基板と蓋側基板の断面構造の概略図である。第一の実施例と大きく異なる点は、導波路側基板にシリコン基板ではなく、石英ガラス基板1'を用いている点である。シリコンに比較して石英ガラスは、光導波路層と同じ材料なので、光導波路層を形成後の内部歪が少なく、基板そのものの反り、また、偏波依存性が軽減されるという長所を有する。

【0063】また、石英ガラス基板は透明なので光導波路基板の裏側からもスリット内部の様子を観察することが可能であり、製造時の確認検査が容易となるという長所も持つ。光導波路基板側のその他の層の堆積は、実施例1と同様である。光導波路基板側に石英ガラスを用いると、熱膨張係数の違いのため、パイレックスガラスを蓋に用いることはできなくなる。蓋側には同じ材料である石英ガラス5'を用いている。

【0064】しかし、石英ガラスはシリコンに対して陽極接合することはできない。これは、パイレックスガラスと異なり、接合時の数百℃の温度において電気伝導を担うアルカリ金属が含有されていないためである。そこ

で、本実施例では、石英ガラスの上に、まず、クロムの金属層17を堆積させ、その上にパイレックスガラス層18をスパッタで堆積させている。接合時は、光導波路側の接合用シリコン層16と蓋側のパイレックス層18にそれぞれ、正極、負極の電極を接触させて電圧をかける。

【0065】パイレックス層18と金属層17では電気抵抗が金属層の方が低いので、負電極に直接金属層を接触させなくても、薄いパイレックス層18を通じて金属層17が負電極に近い電位になり、更に金属層17を通じて、パイレックス層18とシリコン層16の界面に垂直に電界がかかり陽極接合が実現される。蓋側のパイレックス層18は接合時に下向き（光導波路基板を下側にした場合）になるので、負電極を接触させにくい、光導波路側の接合用シリコン層16の一部を電氣的に分離するように形成し、その部分が蓋のパイレックス層18に接触し、且つ、一部が露出するようにさせ、その部分で負電極を接触させると、容易に負電極を上部より接触させることができる。

【0066】但し、この電氣的接触のために設けたシリコン層16の電極の部分はパイレックス層18とは接合しない。

【0067】〔実施例3〕本発明の第三の実施例を図5に示す。図5は蓋側基板の断面構造の概略を示すものである。実施例1では、屈折率整合液体の注入口が蓋の側面にあり、注入溝は蓋の接合面側に彫り込んで形成しているが、本実施例では、蓋に垂直に開けられた穴が注入口8となっている。

【0068】このような構成となっているため、注入溝7の配置が面内に場所を占有することなく、高密度にスイッチを配置することが可能である。特に、複数のスイッチが格子点上に配置されているマトリクススイッチを作成する際に有効である。

【0069】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明の光スイッチ及びその製造方法によれば、光導波路の交差部にスリットを設けその中で屈折率整合液体を移動させて切替を行う光スイッチに高い信頼性を付与し、かつ、高い製造性を実現できる。特に、光導波路基板と蓋側基板を陽極接合することにより、気密性の高い密閉が実現され、屈折率整合液体の長期に渡る品質の保証が可能となる。更に、樹脂による封を行う前に基板表面をシランカップリング剤で処理することによ

り、余分な液体を除去しやすくすると共に、樹脂と基板の接着性を確保して、スリットの密閉を確実なものとするることができる。また、圧力制御により、一括して複数のスリット内への微量な屈折率整合液体の注入を制御性良く行うことができ、これにより、これまで困難であった微小スリットへの液体注入を容易に行えるようになった。更に、陽極接合のために光をとバス基板表面に堆積するシリコン層をスリット形成後に堆積させることにより、スリットの整合を容易に製造性を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施例に係る光スイッチの斜視図である。

【図2】本発明の第一の実施例に係る光スイッチのスリットとヒーターの位置関係を示す概略図である。

【図3】本発明の第一の実施例に係る光スイッチの導波路側基板の断面構造及び蓋側基板の断面構造図である。

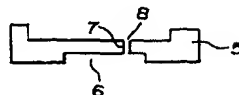
【図4】本発明の第二の実施例に係る光スイッチの導波路側基板の断面構造及び蓋側基板の断面構造図である。

【図5】本発明の第三の実施例に係る光スイッチの蓋側基板の断面構造図である。

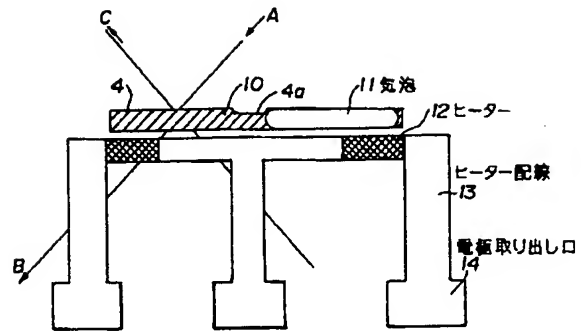
【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 1' 石英基板
- 2 光導波路層
- 3 光導波路
- 4 スリット
- 5 蓋側基板（パイレックスガラス）
- 5' 蓋側基板（石英ガラス）
- 6 迂回路溝
- 7 注入溝
- 8 注入口
- 9 封（エポキシ樹脂）
- 10 屈折率整合液体
- 11 気泡（気体）
- 12 ヒーター
- 13 ヒーター配線
- 14 電極取り出し口
- 15 絶縁層
- 16 接合層
- 17 金属層
- 18 接合用パイレックス層

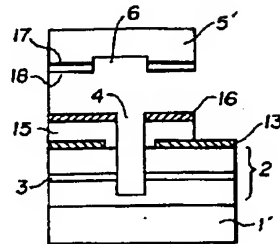
【図5】



【図2】



【図 4】



(72)発明者 牧原 光宏
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内